

УДК 621.316.718.5

СТАБИЛИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ЗА СЧЕТ ИСКЛЮЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА МЕХАНИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА

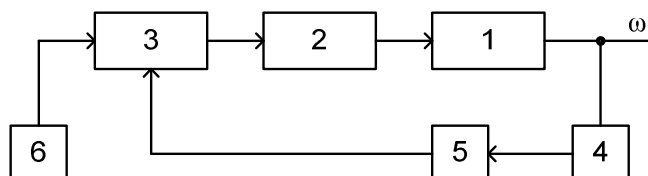
канд. техн. наук, доц. А.С. ВЕРШИНИН, канд. техн. наук, доц. В.П. АВДЕЙКО
(Полоцкий государственный университет)

В типовой схеме импульсного электропривода постоянного тока при формировании импульсов обратной связи с помощью механического модулятора предложено использовать два формирователя импульсов (например, оптронных) и расположить их диаметрально относительно механического модулятора. Для получения рабочих импульсов обратной связи в системе по сигналам указанных формирователей предложено ввести в систему стабилизации схему обработки указанных импульсов, которая определяет временное положение середины между центрами исходных импульсов и вырабатывает рабочие импульсы обратной связи, жестко привязанные к полученному моменту времени. Это позволяет исключить влияние эксцентриситета механического модулятора на частоту следования рабочих импульсов обратной связи в импульсной системе стабилизации скорости вращения вала электродвигателя постоянного тока.

Ключевые слова: электропривод, механический модулятор, формирователь импульсов, эксцентриситет, логические элементы, триггеры, скорость вращения, точность стабилизации.

Введение. Высокие требования к точности регулирования скорости вращения вала электропривода постоянного тока нередко предъявляются в системах автоматического управления скоростью вращения, и в частности в приборах для выполнения угловых измерений. В последних жесткие требования к стабильной скорости вращения, например, механического модулятора, сочлененного с валом электропривода, как угловой меры обусловлены стремлением повышения точности измерений.

В таких случаях часто применяют импульсные астатические системы автоматической стабилизации скорости вращения вала электродвигателя постоянного тока [1, 2], общая типовая структура которой приведена на рисунке 1.



1 – электродвигатель постоянного тока с механическим модулятором 4 на валу, 2 – ключевой усилитель, 3 – регулятор, 5 – оптронный формирователь импульсов, 6 – задающий генератор

Рисунок 1. – Общая структура импульсной системы стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока

Точность стабилизации скорости вращения вала и, соответственно, механического регулятора в такой системе определяется стабильностью частоты задающего генератора импульсов, метрологическими характеристиками регулятора и точностью формирования импульсов обратной связи. Одним из возмущений в такой системе стабилизации скорости вращения электропривода является неравномерность следования импульсов обратной связи, формируемых оптронным формирователем импульсов по меткам, расположенным на окружности модулятора. Это имеет место при наличии эксцентриситета модулятора, насаженного на вал двигателя постоянного тока. При любом изготовлении механического модулятора (в зависимости от точности изготовления) эксцентриситет всегда будет иметь место.

Целью данной работы является повышение точности стабилизации скорости (равномерности) вращения механического модулятора за счет исключения влияния его эксцентриситета.

Обоснование метода достижения цели. Для исключения влияния эксцентриситета механического модулятора на частоту следования импульсов обратной связи в системе стабилизации скорости вращения вала электропривода следует формировать импульсы обратной связи по двум диаметрально расположенным меткам на механическом модуляторе (рисунок 2), с последующей обработкой во времени

полученных сигналов и привязки выходных импульсов к временному положению середины между центрами исходных импульсов [3, 4].

На рисунке 2 условно показан механический модулятор, который вращается с круговой скоростью ω и в котором геометрический O и физический O_1 центры вращения не совпадают. Длина отрезка $OO_1 = \Delta$ является величиной эксцентриситета модулятора как следствие неточности изготовления.

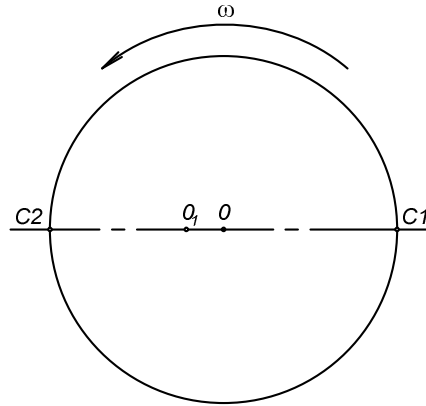


Рисунок 2. – Условное изображение механического модулятора с метками по внешней окружности (например, в виде щелевых прорезей) и диаметрально расположенными оптронными формирователями импульсов C1 и C2

Касательная скорость механического модулятора относительно первого формирователя импульсов C1 изменяется по закону

$$V_{C1} = O_1 \cdot C1 \cdot \omega = [R + \Delta \cdot \sin(\omega \cdot t)] \cdot \omega, \quad (1)$$

где R – рабочий радиус механического модулятора относительно геометрического O центра вращения; Шаг дискретизации (шаг расположения меток) механического модулятора выразим в виде

$$h = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{N}, \quad (2)$$

где N – число дискрет (щелевых прорезей) механического модулятора.

Тогда частота выходных импульсов, вырабатываемых первым оптронным формирователем импульсов C1, с учетом формул (1) и (2), будет изменяться по закону

$$f_{C1} = \frac{V_{C1}}{h} = \frac{[R + \Delta \cdot \sin(\omega \cdot t)] \cdot \omega \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{R + \Delta \cdot \sin(\omega \cdot t)}{R} \cdot f_B \cdot N, \quad (3)$$

где $f_B = \omega / 2 \cdot \pi$.

Частота следования выходных импульсов, вырабатываемых вторым оптронным формирователем импульсов C2, также изменяется по аналогичному закону:

$$f_{C2} = \frac{R - \Delta \cdot \sin(\omega \cdot t)}{R} \cdot f_B \cdot N. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) следует, что частоты получаемых последовательностей импульсов от указанных формирователей импульсов не остаются постоянными и изменяются по синусоидальному закону. Использование такой последовательности импульсов в качестве обратной связи в системе стабилизации скорости вращения вала электропривода не позволяет получить высокую точность стабилизации.

Для исключения влияния эксцентриситета механического модулятора на частоту следования импульсов обратной связи предложено получать ее как результат одновременной обработки импульсов от двух диаметрально расположенных оптронных формирователей импульсов и вырабатывать рабочий выходной импульс со смещением на строго постоянную задержку во времени относительно середины между центрами исходных импульсов (рисунок 3) [4].

На рисунке 3 приняты следующие обозначения:

C1 и C2 – импульсы, вырабатываемые соответственно первым и вторым оптронными формирователями импульсов, которые располагаются диаметрально относительно механического модулятора;

τ_1 и τ_2 – длительности импульсов соответственно $C1$ и $C2$;
 a – интервал времени между передними фронтами импульсов $C1$ и $C2$;
 T_{C1} и T_{C2} – периоды следования импульсов соответственно $C1$ и $C2$;
 $\tau_{\text{зад}}$ – время постоянной задержки выходных рабочих импульсов относительно средней точки между центрами импульсов $C1$ и $C2$;
 T_{Σ} – период следования выходных рабочих импульсов обратной связи.

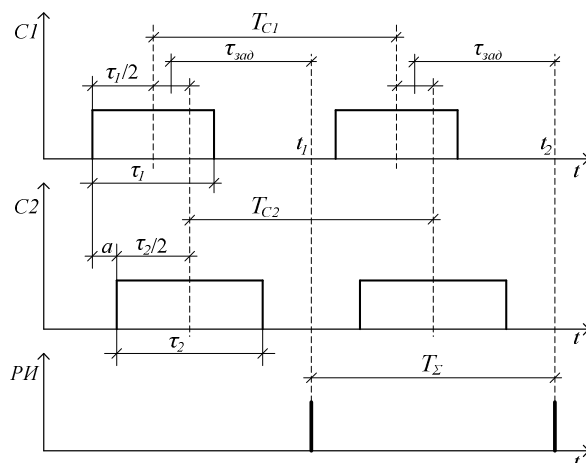


Рисунок 3. – Временная диаграмма, поясняющая принцип обработки исходных импульсов от диаметрально расположенных формирователей для исключения влияния эксцентриситета механического модулятора

Согласно рисунку 3, выразим моменты времени t_1 и t_2 , в которые формируются выходные рабочие импульсы обратной связи:

$$t_1 = \frac{\tau_1/2 + a + \tau_2/2}{2} + \tau_{\text{зад}}; \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{\tau_1/2 + T_{C1} + a + \tau_2/2 + T_{C2}}{2} + \tau_{\text{зад}}. \quad (6)$$

Теперь выразим период следования выходных рабочих импульсов обратной связи:

$$T_{\Sigma} = t_2 - t_1 = \frac{\tau_1}{4} + \frac{T_{C1}}{2} + \frac{a}{2} + \frac{\tau_2}{4} + \frac{T_{C2}}{2} + \tau_{\text{зад}} - \frac{\tau_1}{4} - \frac{a}{2} - \frac{\tau_2}{4} - \tau_{\text{зад}} = \frac{T_{C1} + T_{C2}}{2}, \quad (7)$$

тогда частоту следования выходных рабочих импульсов обратной связи получим в виде

$$f_p = \frac{1}{T_{\Sigma}} = \frac{2}{T_{C1} + T_{C2}} = \frac{2}{1/f_{C1} + 1/f_{C2}} = \frac{2 \cdot f_{C1} \cdot f_{C2}}{f_{C1} + f_{C2}}. \quad (8)$$

Введем обозначение $f_B \cdot N = f_H$, в этом случае выражения (3) и (4) преобразуются к виду

$$f_{C1} = f_H + \Delta f \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (9)$$

$$f_{C2} = f_H - \Delta f \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (10)$$

где $\Delta f = \frac{\Delta}{R} \cdot f_B \cdot N = \frac{\Delta}{R} \cdot f_H$.

Преобразуем выражение (8) с учетом формул (9) и (10):

$$f_p = \frac{2 \cdot [f_H + \Delta f \cdot \sin(\omega \cdot t)] \cdot [f_H - \Delta f \cdot \sin(\omega \cdot t)]}{f_H + \Delta f \cdot \sin(\omega \cdot t) + f_H - \Delta f \cdot \sin(\omega \cdot t)} = \frac{f_H^2 - \Delta f^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t)}{f_H} \approx f_H, \quad (11)$$

так как $\Delta f^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t) \ll f_H^2$.

Таким образом, из выражения (11) следует, что влияние эксцентриситета механического модулятора на частоту следования выходных рабочих импульсов f_p обратной связи практически исключено. При этом выходные рабочие импульсы обратной связи с частотой f_p формируются в моменты времени, сдвинутые относительно середины между центрами исходных импульсов $C1$ и $C2$ на строго постоянное время задержки $\tau_{\text{зад}}$ (см. рисунок 3).

Реализация метода. Для построения системы стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока с такой обработкой сигналов от двух диаметрально расположенных датчиков относительно механического модулятора в структуру системы необходимо ввести цифровое устройство, которое в реальном времени выполнит рассмотренный вид обработки исходных импульсов от датчиков $C1$ и $C2$ и сформирует выходной рабочий импульс (рисунок 4).

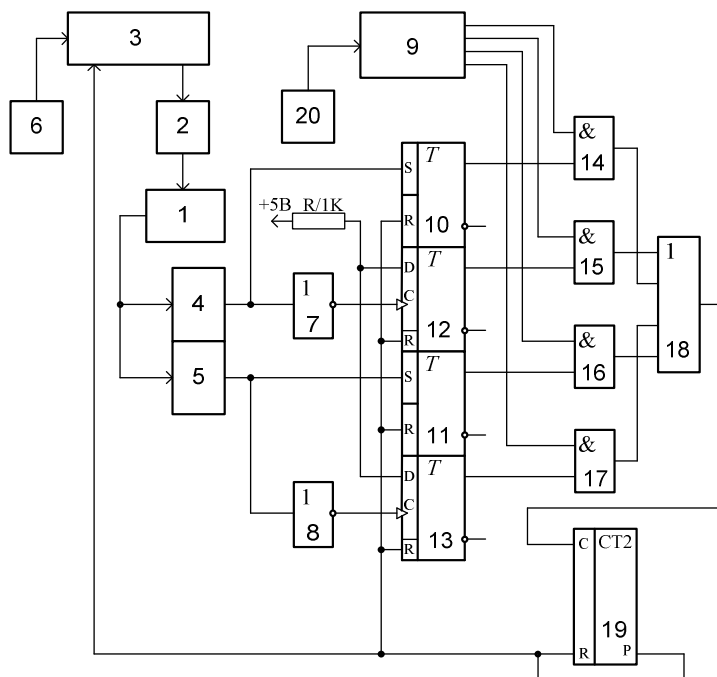


Рисунок 4. – Функциональная схема системы стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока

В состав системы стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока входят электродвигатель 1 постоянного тока с механическим модулятором, ключевой усилитель 2, регулятор 3, диаметрально расположенные оптронные формирователи 4 и 5 импульсов (датчики), задающий генератор импульсов 6 и цифровая схема формирования рабочих импульсов.

Совокупность элементов НЕ 7 и 8, распределителя импульсов 9, RS-триггеров 10 и 11, D-триггеров 12 и 13, элементов И 14–17, элемента ИЛИ 18 и двоичного счетчика импульсов 19 вместе с генератором тактовых импульсов 20 образуют цифровую схему [5], которая формирует рабочие импульсы, снимаемые с выхода переполнения счетчика импульсов и используемые в качестве импульсов отрицательной обратной связи регулятора 3 [4].

Система стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока работает следующим образом. Регулятор сравнивает между собой последовательности импульсов, поступающих от задающего генератора импульсов и с выхода переполнения счетчика импульсов, и вырабатывает управляющее воздействие через ключевой усилитель на электродвигатель. При вращении механического модулятора оптронные формирователи импульсов 4 и 5 вырабатывают прямоугольные импульсы $C1$ и $C2$, как показано на временной диаграмме (см. рисунок 3). Частота следования импульсов $C1$ и $C2$ пропорциональна скорости вращения механического модулятора и при наличии эксцентриситета указанная частота изменяется по синусоидальному закону около своего среднего значения согласно формулам (9) и (10). Период изменения частоты равен периоду одного оборота модулятора, а величина изменения частоты пропорциональна величине эксцентриситета. Полученные прямоугольные импульсы $C1$ и $C2$ поступают на входы цифровой схемы формирования рабочих импульсов (см. рисунок 4).

Временная диаграмма, поясняющая работу цифровой схемы формирования рабочих импульсов, приведена на рисунке 5.

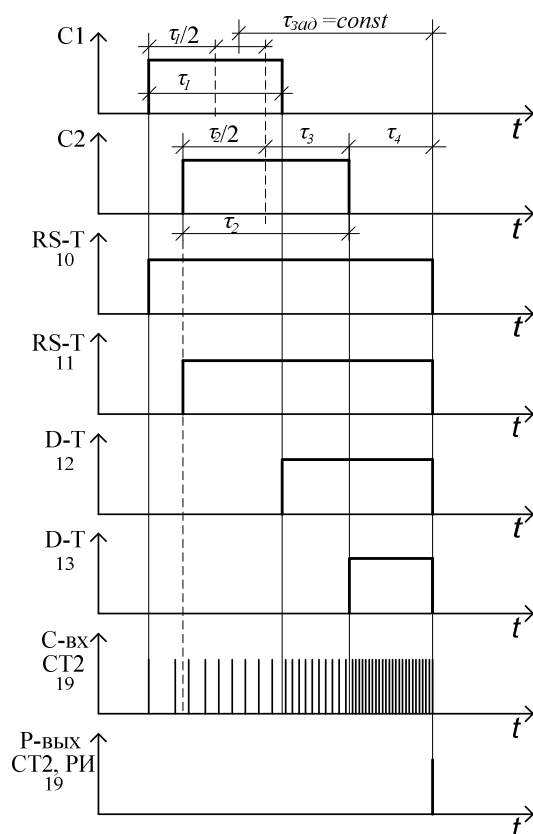


Рисунок 5. – Временная диаграмма работы цифровой схемы формирования рабочих импульсов

В соответствии с рисунком 5 выразим величину времени задержки формирования рабочего импульса относительно середины между центрами импульсов $C1$ и $C2$.

$$\tau_{\text{зад}} = \frac{\tau_4 + \frac{\tau_2}{2} + \tau_4 + \tau_3 + \frac{\tau_1}{2}}{2} = \frac{\tau_4}{2} + \frac{\tau_2}{4} + \frac{\tau_4 + \tau_3}{2} + \frac{\tau_1}{4} = 2^n \cdot \frac{1}{f} = \text{const}, \quad (12)$$

где $\tau_{\text{зад}}$ – время постоянной задержки рабочего импульса обратной связи относительно середины между центрами импульсов $C1$ и $C2$;

τ_1 – длительность импульса $C1$, вырабатываемого оптронным формирователем импульсов 4;

τ_2 – длительность импульса $C2$, вырабатываемого оптронным формирователем импульсов 5;

τ_3 – время смещения между задними фронтами импульсов $C1$ и $C2$;

τ_4 – время смещения выходного рабочего импульса относительно заднего фронта запаздывающего импульса (в данном случае $C2$);

n – число разрядов двоичного счетчика импульсов;

f – частота следования тактовых импульсов генератора.

Представим величины τ_1 и τ_2 в следующем виде:

$$\tau_1 = (\tau_2 - \tau_3) + (\tau_1 - \tau_2 + \tau_3), \quad (13)$$

$$\tau_2 = \tau_3 + (\tau_2 - \tau_3). \quad (14)$$

В выражении (13) первое слагаемое соответствует части длительности τ_1 от переднего фронта импульса $C2$ до заднего фронта импульса $C1$. Второе слагаемое в этом выражении соответствует части длительности τ_1 от переднего фронта импульса $C1$ до переднего фронта импульса $C2$.

В выражении (14) первое слагаемое соответствует части длительности τ_2 от заднего фронта импульса $C1$ до заднего фронта импульса $C2$. Второе слагаемое в этом выражении соответствует части длительности τ_2 от переднего фронта импульса $C2$ до заднего фронта импульса $C1$.

Подставим формулы (13) и (14) в выражение (12):

$$\begin{aligned}\tau_{\text{зад}} &= \tau_4 + \frac{\tau_3}{4} + \frac{\tau_3}{2} + \frac{(\tau_2 - \tau_3)}{4} + \frac{(\tau_2 - \tau_3)}{4} + \frac{(\tau_1 + \tau_3 - \tau_2)}{4} = \\ &= \tau_4 + \frac{3}{4} \cdot \tau_3 + \frac{1}{2} \cdot (\tau_2 - \tau_3) + \frac{1}{4} \cdot (\tau_1 + \tau_3 - \tau_2) = 2^n \cdot \frac{1}{f} = \text{const.}\end{aligned}\quad (15)$$

Умножив выражение (15) на частоту f , получим

$$2^n = \tau_4 \cdot f + \tau_3 \cdot \frac{3}{4} \cdot f + (\tau_2 - \tau_3) \cdot \frac{1}{2} \cdot f + (\tau_1 + \tau_3 - \tau_2) \cdot \frac{1}{4} \cdot f. \quad (16)$$

Как известно операция умножения временного интервала на частоту следования импульсов эквивалентна заполнению этого временного интервала импульсами соответствующей частоты. Из выражения (16) следует, что интервал времени τ_4 необходимо заполнять импульсами с частотой f , интервал времени τ_3 – с частотой $0,75 \cdot f$, интервал времени $(\tau_2 - \tau_3)$ – с частотой $0,5 \cdot f$ и интервал времени $(\tau_1 + \tau_3 - \tau_2)$ – с частотой $0,25 \cdot f$. Из рисунка 5 видно, что интервал времени $(\tau_2 - \tau_3)$ – это время перекрытия импульсов С1 и С2, а интервал времени $(\tau_1 + \tau_3 - \tau_2)$ – это интервал времени между передними фронтами этих импульсов.

Распределитель импульсов непрерывно вырабатывает четыре последовательности импульсов с частотой $f/4$, сдвинутых во времени друг относительно друга. В исходном состоянии все триггеры 10–13 и счетчик импульсов находятся в нулевом (сброшенном) состоянии. При появлении импульса С1 с выхода оптронного формирователя импульсов 4 RS-триггер 10 устанавливается в единичное состояние и разрешает прохождение импульсов с первого выхода распределителя импульсов через элемент И 14 и далее через элемент ИЛИ на С-вход счетчика импульсов. При этом на этот вход счетчика импульсов поступают импульсы с частотой $f/4$. Состояние схемы соответствует интервалу времени $(\tau_1 + \tau_3 - \tau_2)$ (см. рисунок 5).

При появлении импульса С2 с выхода оптронного формирователя импульсов 5 RS-триггер 11 устанавливается в единичное состояние и разрешает прохождение импульсов с третьего выхода распределителя импульсов через элемент И 16 и далее через элемент ИЛИ на С-вход счетчика импульсов. Так как RS-триггеры 10 и 11 находятся в единичных состояниях, то на С-вход счетчика импульсов поступают импульсы с частотой $f/2$. Состояние схемы соответствует интервалу времени $(\tau_2 - \tau_3)$ (см. рисунок 5).

С окончанием действия импульса С1 по заднему фронту через элемент НЕ 7 D-триггер 12 переводится в единичное состояние и разрешает прохождение импульсов со второго выхода распределителя импульсов через элемент И 15 и далее через элемент ИЛИ на С-вход счетчика импульсов. Исходя из того что RS-триггеры 10 и 11 и D-триггер 12 находятся в единичных состояниях, на С-вход счетчика импульсов поступают импульсы с частотой $3 \cdot f/4$. Состояние схемы соответствует интервалу времени τ_3 (см. рисунок 5).

С окончанием действия импульса С2 по заднему фронту через элемент НЕ 8 D-триггер 13 переводится в единичное состояние и разрешает прохождение импульсов с четвертого выхода распределителя импульсов через элемент И 17 и далее через элемент ИЛИ на С-вход счетчика импульсов. Так как все четыре триггера 10–13 находятся в единичных состояниях, то на С-входе счетчика импульсов суммируются четыре последовательности сдвинутых во времени импульсов с частотой $f/4$, то есть счетчик импульсов продолжает заполняться импульсами с частотой f . Состояние схемы соответствует интервалу времени τ_4 (см. рисунок 5).

При переполнении счетчика импульсов, когда на его вход подано 2^n импульсов, на выходе переполнения счетчика формируется рабочий импульс, который сбрасывает в нулевое состояние счетчик импульсов и все триггеры 10–13. Сформированный рабочий импульс используется как импульс отрицательной обратной связи регулятора. Временное положение формируемого рабочего импульса строго постоянно относительно средней точки между центрами импульсов С1 и С2. А период следования и частота формируемых рабочих импульсов свободны от влияния эксцентриситета механического модулятора.

Структура регулятора может быть практически любой для класса регуляторов, использующих в качестве сигнала обратной связи импульсы таходатчика, связанного с валом электродвигателя, а в качестве задающего воздействия – частоту импульсов задающего генератора.

Условия работоспособности метода. Условием работоспособности такой импульсной системы стабилизации скорости вращения вала электропривода является требование – длительность обработки исходных импульсов С1 и С2 и формирования рабочего импульса обратной связи должна быть меньше периода частоты импульсов задающего генератора. Для этого следует выбирать частоту тактовых им-

пульсов генератора значительно выше частоты импульсов задающего генератора. При этом возникает вопрос: в каком соотношении должны находиться указанные частоты?

Исходя из временной диаграммы (см. рисунок 5) время формирования рабочего импульса обратной связи можно определить как

$$T_{\text{ФРИ}} = \frac{\frac{\tau_1}{2} + a + \frac{\tau_2}{2}}{2} + \tau_{\text{зад}} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{4} + \frac{a}{2} + \tau_{\text{зад}}. \quad (17)$$

Поскольку метки (щели) на механический модулятор наносятся одним инструментом, то длительности импульсов $C1$ и $C2$ отличаются незначительно:

$$\tau_1 \approx \tau_2 \approx \tau. \quad (18)$$

Амплитуда колебаний смещения a между передними фронтами импульсов $C1$ и $C2$ пропорциональна величине эксцентриситета и тоже невелика. Ограничим диапазон изменения смещения a , пусть

$$a \leq \tau/2. \quad (19)$$

Тогда время формирования рабочего импульса с учетом условия (19):

$$T_{\text{ФРИ}} = \frac{\tau}{2} + \frac{\tau}{4} + \tau_{\text{зад}}. \quad (20)$$

Примем $\tau \approx \tau_{\text{зад}}$, в этом случае

$$T_{\text{ФРИ}} = 1\frac{3}{4} \cdot \tau_{\text{зад}}, \quad (21)$$

где $\tau_{\text{зад}} = 2^n \cdot \frac{1}{f} = \text{const}$, здесь f – частота тактовых импульсов генератора.

Как указывалось выше, период следования импульсов задающего генератора $T_{3Г}$ должен быть больше времени формирования рабочего импульса обратной связи $T_{\text{ФРИ}}$, то есть $T_{3Г} > T_{\text{ФРИ}}$, тогда логично принять

$$T_{3Г} = 2 \cdot \tau_{\text{зад}} = 2^{n+1} \cdot \frac{1}{f}. \quad (22)$$

Из формулы (21) следует, что частота тактовых импульсов генератора должна быть в 2^{n+1} раз выше частоты импульсов задающего генератора.

Вопросы метрологии. Точность формирования во времени рабочих импульсов обратной связи с выхода переполнения счетчика импульсов зависит и от его разрядности. Чем больше число разрядов n счетчика импульсов, тем точнее во времени формируется указанный рабочий импульс обратной связи относительно середины между центрами исходных импульсов $C1$ и $C2$.

Разумное количество разрядов счетчика импульсов целесообразно определять, задаваясь допустимой точностью формирования рабочего импульса во времени на периоде частоты задающего генератора.

Частота тактовых импульсов генератора и частота импульсов задающего генератора с учетом (22) связаны соотношением

$$f \geq 2^{n+1} \cdot f_{3Г}. \quad (23)$$

Рассматривая младший бит счетчика импульсов как абсолютную погрешность [6, 7] положения во времени формируемого рабочего импульса на периоде частоты импульсов задающего генератора, получим приведенную относительную погрешность в процентах [7]:

$$\delta \leq \frac{1}{2^{n+1}} \cdot 100\%. \quad (24)$$

Далее, из формулы (24) получим

$$2^{n+1} \geq \frac{1}{\delta} \cdot 100\%. \quad (25)$$

Логарифмируем обе части выражения (25):

$$(n+1) \cdot \lg 2 \geq \lg \left(\frac{100}{\delta} \right). \quad (26)$$

Отсюда, задаваясь допустимой приведенной относительной погрешностью δ формирования во времени указанного рабочего импульса относительно периода следования импульсов задающего генератора 6, находим разрядность счетчика импульсов по формуле

$$n \geq \frac{\lg\left(\frac{100}{\delta}\right)}{\lg 2} - 1. \quad (27)$$

В функциональной схеме системы стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока, приведенной на рисунке 4, можно обойтись одним генератором импульсов, если вместо задающего генератора импульсов применить делитель частоты тактовых импульсов генератора, но при этом разрядность делителя частоты на единицу должна быть больше разрядности счетчика импульсов.

Выводы:

1. Использование двух формирователей импульсов, расположенных диаметрально относительно механического модулятора в системе стабилизации скорости вращения вала электропривода постоянного тока, и введенная в систему цифровая схема формирования рабочего импульса обратной связи (см. рисунок 4) позволяют исключить влияние эксцентриситета механического модулятора на скорость вращения вала электропривода и тем самым повысить точность стабилизации скорости вращения.

2. Частота f генератора тактовых импульсов, используемых в цифровой схеме формирования рабочего импульса обратной связи, должна быть в 2^{n+1} выше частоты $f_{3Г}$ следования импульсов задающего генератора согласно соотношению $f \geq 2^{n+1} \cdot f_{3Г}$.

3. Для достижения требуемой допустимой точности положения во времени формируемых рабочих импульсов обратной связи разрядность счетчика импульсов должна удовлетворять выражению

$$n \geq \frac{\lg\left(\frac{100}{\delta}\right)}{\lg 2} - 1.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Трахтенберг, Р.М. Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением / Р.М. Трахтенберг. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 168 с.
2. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода : учебник / В.В. Москаленко. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 208 с.
3. Цифровой электропривод постоянного тока : а. с. СССР №1335106 / В.Д. Сибирцев, А.С. Вершинин. – Оpubл. 1987.
4. Цифровой электропривод постоянного тока : а. с. СССР №1422349 / В.Д. Сибирцев, А.С. Вершинин. – Оpubл. 07.09.1988.
5. Цифровой измеритель временного положения середины видеоимпульсов : а. с. СССР №1449937 / В.Д. Сибирцев, А.С. Вершинин. – Оpubл. 07.01.1989.
6. Brindley, K. Sensors and Transducers / K. Brindley. – London, 1988.
7. Основы метрологии и электрические измерения : учеб. для вузов / под ред. Е.М. Душина. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

Поступила 20.09.2017

ROTATION SPEED STABILIZATION OF THE DC ELECTRIC DRIVE SHAFT BY ELIMINATING THE ECCENTRICITY EFFECT OF THE MECHANICAL MODULATOR

A. VERSHININ, V. AVDEYKO

In a typical scheme of a pulsed DC electric drive when forming feedback impulses with a mechanical modulator, it is proposed to use two pulse formers (for example, optocouplers) and arrange them diametrically relative to the mechanical modulator. In order to form working feedback impulses in the stabilization system, it is suggested to introduce a circuit that processes the impulses from these pulse formers, determines the time position of the center between the centers of the initial impulses and generates working feedback impulses strictly at the obtained instants of time. This will allow us to exclude the mechanical modulator eccentricity effect on the repetition rate of the feedback impulses in the pulse system that stabilizes the rotational speed of the DC electric drive shaft.

Keywords: electric drive, mechanical modulator, pulse former, eccentricity, logic element, trigger, rotational velocity, stabilization accuracy.